



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 102 03 795 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
H 01 L 21/58
B 23 K 26/38

②① Aktenzeichen: 102 03 795.7
②② Anmeldetag: 31. 1. 2002
②③ Offenlegungstag: 21. 8. 2003

DE 102 03 795 A 1

⑦① Anmelder:
OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93049
Regensburg, DE

⑦④ Vertreter:
Epping, Hermann & Fischer GbR, 80339 München

⑦② Erfinder:
Plöchl, Andreas, Dr., 93053 Regensburg, DE; Härle,
Volker, Dr., 93164 Laaber, DE; Kaiser, Stephan, Dr.,
93059 Regensburg, DE; Hahn, Berthold, Dr., 93155
Hemau, DE; Fehrer, Michael, Dr., 93077 Bad
Abbach, DE; Otte, Frank, 30419 Hannover, DE

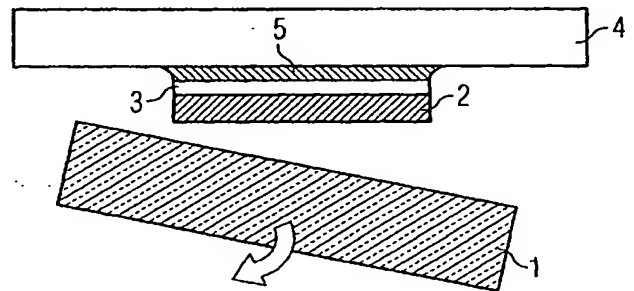
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 43 24 318 C1
DE 196 40 594 A1
US 59 98 291
TOET, D., THOMPSON, O., SMITH, P.M., CAREY, P.,
SIGMON, T.W.: Thin Film Transistors Fabricated in
Printed Silicon. In: Jpn. J. Appl. Phys., 1999,
Vol. 38, Part 2, No. 10A, S. L 1149-1152;
MARIUCCI, L., CARLUCCIO, R., PECORA, A.,
FOGLIETTI, V., u.a.: Lateral growth control in
excimer laser crystallized polysilicon. In: Thin
solid films, ISSN 0040-6090, 1999, Vol. 337,
S. 137-142;
ANGELIS, C.T., DIMITRIADIS, C.A., MIYASAKA, M.,
FARMAKIS, F.V., u.a.: Effect of excimer laser
annealing on the structural and electrical pro-
perties of Polycrystalline silicon thin-film
transistors. In: Journal of Applied Physics, ISSN
021-8979, 1999, Vol. 86, No. 8, S. 4600-4606;
Laser Beam Homogenizer, Laser-Laboratorium
Göttigen e.V., Technisches Datenblatt, 1995;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements

⑤⑦ Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Herstellung
eines Halbleiterbauelements, insbesondere eines Dünn-
schichtbauelements, wobei eine Halbleiterschicht durch
Bestrahlung mit einem Laserstrahl, der ein plateauartiges
räumliches Strahlprofil aufweist, von einem Substrat ge-
trennt wird. Bevorzugt wird die Halbleiterschicht vor der
Trennung auf einen Träger aufgelötet. Die Erfindung eig-
net sich insbesondere für Halbleiterschichten, die einen
Nitrid-Verbindungshalbleiter enthalten.



DE 102 03 795 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements nach dem Oberbegriff der Patentansprüche 1, 2 bzw. 13.

[0002] Bauelemente der genannten Art enthalten einen Halbleiterkörper und ein Trägerteil, auf dem der Halbleiterkörper befestigt ist. Zur Herstellung des Halbleiterkörpers wird zunächst eine Halbleiterschicht auf einem geeigneten Substrat gefertigt, nachfolgend mit einem Träger verbunden und dann von dem Substrat abgelöst. Durch Zerteilen, beispielsweise Zersägen, des Trägers mit der darauf angeordneten Halbleiterschicht entsteht eine Mehrzahl von Halbleiterkörpern, die jeweils auf dem entsprechenden Trägerteil befestigt sind. Wesentlich ist hierbei, daß das zur Herstellung der Halbleiterschicht verwendete Substrat von der Halbleiterschicht entfernt wird und nicht zugleich als Träger bzw. Trägerteil im Bauelement dient.

[0003] Dieses Herstellungsverfahren hat den Vorteil, daß verschiedene Materialien für das Substrat und den Träger verwendet werden können. Damit können die jeweiligen Materialien an die unterschiedlichen Anforderungen für die Herstellung der Halbleiterschicht einerseits und die Betriebsbedingungen andererseits weitgehend unabhängig voneinander angepaßt werden.

[0004] Insbesondere die epitaktische Herstellung einer Halbleiterschicht stellt zahlreiche spezielle Anforderungen an das Epitaxiesubstrat. Beispielsweise müssen die Gitterkonstanten des Substrats und der aufzubringenden Halbleiterschicht aneinander angepaßt sein. Weiterhin sollte das Substrat den Epitaxiebedingungen, insbesondere Temperaturen bis über 1000°C, standhalten und für das epitaktische An- und Aufwachsen einer möglichst homogenen Schicht des betreffenden Halbleitermaterials geeignet sein.

[0005] Für die weitere Verarbeitung des Halbleiterkörpers und den Betrieb hingegen stehen andere Eigenschaften des Trägers wie beispielsweise elektrische und thermische Leitfähigkeit sowie Strahlungsdurchlässigkeit bei optoelektronischen Bauelementen im Vordergrund. Die für ein Epitaxiesubstrat geeigneten Materialien sind daher als Trägerteil im Bauelement oftmals nur bedingt geeignet. Schließlich ist es insbesondere bei vergleichsweise teuren Epitaxiesubstraten wie beispielsweise Siliziumkarbidsubstraten wünschenswert, die Substrate mehrmals verwenden zu können.

[0006] Für das genannte Herstellungsverfahren ist die Ablösung der Halbleiterschicht von dem Substrat wesentlich. Diese Ablösung kann durch Bestrahlung der Halbleiter-Substrat-Grenzfläche mit Laserstrahlung erreicht werden. Dabei wird die Laserstrahlung in der Nähe der Grenzfläche absorbiert und bewirkt dort eine Zersetzung des Halbleitermaterials.

[0007] In DE 196 40 594 A1 ist ein derartiges Trennverfahren beschrieben. Als Laserstrahlung wird hier die frequenzverdreifachte Strahlung eines gütegeschalteten Nd:YAG-Lasers mit einer Wellenlänge von etwa 355 nm verwendet. Bei einem derartigen Verfahren besteht die Gefahr, daß aufgrund unvollständiger Materialzersetzung bei der Ablösung der Halbleiterschicht Substratreste auf der Halbleiterschicht haften bleiben. Beispielsweise finden sich oftmals auf einer auf diese Art und Weise von einem Saphirsubstrat getrennten GaN-Schicht mikroskopische Saphirkörner, sogenannte "Abplatzer".

[0008] Der Durchmesser dieser Saphirrückstände liegt typischerweise zwischen 5 µm und 100 µm. Die Saphirrückstände erschweren die weitere Verarbeitung der Halbleiterschicht und erfordern aufgrund der hohen mechanischen und chemischen Resistenz von Saphir einen vergleichsweise großen Aufwand zu ihrer Entfernung. Dies kann dazu füh-

ren, daß nur Teile der abgelösten Halbleiterschicht weiterverwendet werden können oder sogar die gesamte Schicht unbrauchbar wird.

[0009] In der Regel ist eine mechanische Stabilisierung der abzulösenden Halbleiterschicht erforderlich, da die Schichtdicke so gering ist, daß ansonsten die Gefahr einer Beschädigung, insbesondere eines Bruchs oder Risses der Schicht, besteht. Zur mechanischen Stabilisierung ist beispielsweise eine stoffschlüssige Verbindung der Halbleiterschicht, die auch bereits teilprozessiert sein kann, mit dem Träger geeignet. Eine derartige Verbindung sollte zumindest so weit temperaturstabil sein, daß sie die bei nachfolgenden Fertigungsschritten auftretenden Temperaturen unbeschadet übersteht. Weiterhin sollte diese Verbindung auch bei Temperaturwechselbelastungen, die insbesondere im Betrieb des Bauelements auftreten können, stabil bleiben.

[0010] Zur Befestigung der Halbleiterschicht auf dem Träger werden oftmals Klebstoffe verwendet. Bei höheren elektrischen Leistungen können sich dabei Probleme aufgrund der begrenzten thermischen und elektrischen Leitfähigkeit von Klebstoffen ergeben. Die begrenzte thermische Beständigkeit solcher Klebstoffverbindungen limitiert zudem den zulässigen Temperaturbereich eines entsprechenden Bauelements und in der Folge die maximal mögliche Verlustleistung.

[0011] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Herstellungsverfahren für ein Halbleiterbauelement, bei dem eine Halbleiterschicht mittels Laserbestrahlung von einem Substrat getrennt wird, zu entwickeln.

[0012] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach einem der Patentansprüche 1, 2 und 13 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0013] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, eine Halbleiterschicht von einem Substrat durch Bestrahlung mit einem Laserstrahl zu trennen, wobei der Laserstrahl ein plateauartiges, insbesondere rechteckartiges oder trapezartiges Strahlprofil aufweist. Durch dieses Strahlprofil wird die Anzahl der Substratrückstände auf der Halbleiterschicht gegenüber einem herkömmlichen Trennverfahren deutlich verringert.

[0014] Unter einem plateauartigen Strahlprofil ist eine transversale Intensitätsverteilung des Laserstrahls zu verstehen, die einen Zentralbereich mit einer im wesentlichen konstanten Intensitätsverteilung aufweist, an den sich jeweils eine Flanke mit abfallender Intensität anschließt. Vorzugsweise ist die relative Schwankung der Strahlintensität in dem Zentralbereich geringer als 5 Prozent.

[0015] Zur weiteren Verbesserung des Strahlprofils kann dem Laser ein Strahlhomogenisierer nachgeordnet sein. Weiterhin ist es zweckmäßig, zur Abbildung des Laserstrahls auf die Halbleiterschicht eine geeignete Optik, beispielsweise ein Linsensystem, das Korrekturlinsen, Abschwächer, Spiegel, Maskenstrukturen und/oder Projektive umfassen kann, zu verwenden. Auf diese Art und Weise ist es möglich, die zur Materialzersetzung erforderliche Energiedichte einzustellen, ohne das vorteilhafte Strahlprofil zu verschlechtern.

[0016] Die bei herkömmlichen Lasertrennverfahren verwendeten Laser weisen demgegenüber in der Regel ein gaußartiges Strahlprofil auf. Dies führt zu einer räumlich inhomogenen Feldverteilung auf der Halbleiter-Substrat-Grenzfläche und in der Folge zu einer unterschiedlich starken Materialzersetzung. Bei der nachfolgenden Ablösung der Halbleiterschicht besteht die Gefahr, daß an Stellen schwacher oder unvollständiger Materialzersetzung Substratrückstände auf der Halbleiterschicht haften bleiben.

[0017] Vorzugsweise wird bei der Erfindung der Laser-

strahl von einem Excimer-Laser erzeugt. Excimer-Laser weisen in der Regel ein plateauartiges, oftmals trapez- oder rechteckartiges Strahlprofil auf. Weiterhin liegt insbesondere bei Excimer-Lasern mit einer Edelgas-Halogen-Verbindung als Lasermedium die Emissionswellenlänge im ultraviolett Spektralbereich, der zur Ablösung von Nitrid-Verbindungshalbleitern besonders geeignet ist. Zudem ist die Impulsspitzenleistung bei Excimer-Lasern, die typischerweise zwischen 1 kW und 100 MW liegt, so groß, daß auch bei Maskenabbildungen des Laserstrahls und nach dem Durchgang durch eine Mehrzahl von Linsen die Energiedichte zur Materialzersetzung ausreicht.

[0018] Um die für die Materialzersetzung erforderliche Strahlintensität zu erreichen, ist für den Laser ein gepulster Betrieb zweckmäßig. Gegenüber einem Laser im Dauerstrichbetrieb wird so auch die Gefahr einer Überhitzung der abzulösenden Halbleiterschicht gemindert. Der Abransport der durch die Laserbestrahlung entstehenden Wärme kann bei einem gepulsten Laser durch entsprechende Wahl von Impulsdauer und Impulsabstand optimal eingestellt werden.

[0019] Bei Halbleiterschichten mit größerer lateraler Ausdehnung ist es vorteilhaft, nebeneinander angeordnete Einzelbereiche der Halbleiterschicht nacheinander zu bestrahlen, um eine zu große Aufweitung der Strahlfläche zu vermeiden. Da bei gegebener Strahlleistung bzw. Energie des Laserimpulses mit steigender Strahlfläche die Intensität sinkt, kann bei zu starker Strahlaufweitung die Dekompositionsschwelle, d. h. die für die Materialzersetzung erforderliche Energiedichte, unterschritten und die vollständige Ablösung der Halbleiterschicht beeinträchtigt werden.

[0020] Hierbei ist es besonders vorteilhaft, den Laserstrahl und/oder das Substrat mit der darauf befindlichen Halbleiterschicht so zu führen, daß die bestrahlten Einzelbereiche eine flächenfüllende Gesamtanordnung ergeben. Dem entspricht zeitlich, d. h. über den Zeitraum der Bestrahlung, integriert eine annähernd konstante räumliche Intensitätsverteilung für den überwiegenden Teil der bestrahlten Fläche. Aufgrund dieser annähernd konstanten Intensitätsverteilung weist die abgelöste Halbleiterschicht eine vorteilhaft geringe Anzahl von Substratrückständen auf oder ist sogar rückstandsfrei. Für die genannte flächenfüllende Gesamtanordnung der bestrahlten Einzelbereiche ist ein plateauartiges, insbesondere rechteckartiges räumliches Strahlprofil besonders vorteilhaft.

[0021] Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist der Laserstrahl am Ort der Halbleiterschicht bzw. der Halbleiter-Substrat-Grenzfläche eine Strahlfläche mit einer Längsabmessung und einer Querabmessung auf, wobei die Längsabmessung deutlich größer als die Querabmessung ist. Bevorzugt übersteigt die Längsabmessung die Querabmessung um einen Faktor 5 bis 10, so daß sich eine linienartige oder streifenartige Strahlfläche ergibt.

[0022] Die Halbleiterschicht wird während der Bestrahlung in paralleler Richtung zu der Querabmessung bewegt, so daß während der Bestrahlung die linien- oder streifenartige Strahlfläche die gesamte abzulösende Halbleiterschicht überstreicht. Über den Zeitraum der Bestrahlung integriert ergibt sich auch hier eine vorteilhaft konstante Intensitätsverteilung der bestrahlten Halbleiterschicht, wobei ein weiterer Vorteil darin besteht, daß eine einfache lineare Bewegung der Halbleiterschicht gegenüber dem Laserstrahl ausreicht. Es versteht sich, daß es sich hierbei um eine Relativbewegung zwischen Halbleiterschicht und Laserstrahl handelt, die sowohl durch eine Bewegung der Halbleiterschicht bei einem ortsfesten Laserstrahl als auch durch eine entsprechende Führung des Laserstrahls bei einer ortsfesten Halbleiterschicht realisiert werden kann.

[0023] Bei der Erfindung ist es vorteilhaft, den unmittel-

baren Grenzflächenbereich zwischen Halbleiterschicht und Substrat mit der Laserstrahlung zu bestrahlen, so daß die Strahlungsenergie grenzflächennah absorbiert wird und dort zu einer Materialzersetzung führt. Dies kann dadurch erreicht werden, daß das Substrat für die Laserstrahlung durchlässig ist und die Halbleiterschicht durch das Substrat hindurch bestrahlt wird. Bei dieser Anordnung ist in der Regel die Absorption der Laserstrahlung in der Halbleiterschicht wesentlich größer als in dem Substrat, so daß der Laserstrahl das Substrat nahezu verlustfrei durchdringt und aufgrund der hohen Absorption grenzflächennah in der Halbleiterschicht absorbiert wird.

[0024] Es sei angemerkt, daß die Strahlungsabsorption nicht notwendigerweise am Ort der Materialzersetzung erfolgen muß. Die Materialzersetzung kann auch dadurch bewirkt werden, daß die Strahlung zunächst an einem anderen Ort absorbiert wird und nachfolgend ein Energietransport der absorbierten Strahlungsenergie an die Stelle der Materialzersetzung stattfindet. Gegebenenfalls könnte die Strahlung auch in dem Substrat absorbiert und nachfolgend die Strahlungsenergie zur Halbleiterschicht transportiert werden.

[0025] Erfindungsgemäß ist weiterhin vorgesehen, zur Herstellung eines Halbleiterbauelements eine Halbleiterschicht mittels eines Laserstrahls von einem Substrat zu trennen, wobei vor der Trennung die Halbleiterschicht mit der von dem Substrat abgewandten Seite auf einen Träger gelötet wird. Eine Lötverbindung zeichnet sich gegenüber herkömmlichen Klebstoffverbindungen durch eine hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit aus.

[0026] Die Trennung selbst erfolgt vorzugsweise nach einem der bereits beschriebenen Verfahren. Es versteht sich, daß bei diesen zuvor beschriebenen Trennverfahren eine Lötverbindung zwar vorteilhaft ist, aber auch eine Klebeverbindung zwischen Träger und Halbleiterschicht im Rahmen der Erfindung liegt.

[0027] Als Lot wird vorzugsweise ein goldhaltiges Lot, beispielsweise ein Gold-Zinn-Lot, verwendet. Besonders bevorzugt sind hierbei Gold-Zinn-Lote mit einem hohen Goldanteil, beispielsweise zwischen 65 Gew.-% und 85 Gew.-%.

[0028] Die Schmelztemperatur eines solchen Lots beträgt typischerweise 278°C und ist somit größer als die Temperatur, die üblicherweise beim Verlöten eines elektrischen Bauelements entsteht. So ist beispielsweise die Löttemperatur beim Auflöten auf eine Leiterplatte in der Regel kleiner als 260°C. Damit wird verhindert, daß sich beim Einlöten des Bauelements der Halbleiterkörper von dem Trägereil ablöst.

[0029] Weiterhin eignet sich als Lot beispielsweise ein PdIn-Lot, dessen Bestandteile sich bei einer vergleichsweise niedrigen Anfangstemperatur von etwa 200°C durchmischen, und das nach der Durchmischung eine vorteilhaft hohe Schmelztemperatur von über 660°C aufweist.

[0030] Eine derartige Verbindung kann beispielsweise dadurch hergestellt werden, daß auf der Halbleiterschicht eine Indiumschiicht und auf dem Träger eine Palladiumschicht aufgebracht wird und nachfolgend der Träger und die Halbleiterschicht unter erhöhtem Druck bei einer Temperatur von etwa 200°C oder mehr zusammengefügt werden.

[0031] Selbstverständlich kann auch die Palladiumschicht auf der Halbleiterschicht und die Indiumschiicht auf dem Träger aufgebracht sein. Zudem ist es vorteilhaft, zwischen der Halbleiterschicht und der Metallschiicht weitere Schichten vorzusehen, die beispielsweise einen Schutz der Halbleiterschicht oder eine gute Haftung gewährleisten. Eine Schichtenfolge mit einer Titanschiicht auf der Halbleiteroberfläche, nachfolgend einer Palladiumschicht und darauf

einer Indiumschiicht ist in Verbindung mit einer Palladiumschicht auf dem Träger besonders vorteilhaft.

[0032] Hinsichtlich eines geringen Kontaktwiderstands und vorteilhafter Lötseigenschaften ist es zweckmäßig, die Halbleiterschicht auf der dem Träger zugewandten Seite vor dem Auflöten auf den Träger mit einer Kontaktmetallisierung zu versehen. Hierfür eignet sich beispielsweise eine Platin-Gold-Metallisierung.

[0033] Als Trägermaterial werden bevorzugt Materialien verwendet, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Substrats und/oder der Halbleiterschicht angepaßt ist, wobei besonders bevorzugt der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers sowohl an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschichten als auch an den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Substrats angepaßt ist. Unter einer Anpassung ist dabei zu verstehen, daß die Differenz der Ausdehnungskoeffizienten so klein ist, daß in dem bei der Herstellung auftretenden bzw. im Betrieb vorgesehenen Temperaturbereich keine Schäden an der Halbleiterschicht entstehen. Die relative Abweichung angepaßter thermischer Ausdehnungskoeffizienten sollte daher kleiner als 50%, vorzugsweise kleiner als 30% sein. Für Halbleiterschichten auf der Basis eines Nitrid-Verbindungshalbleiters ist ein Träger, der Galliumarsenid, Germanium, Molybdän, Silizium oder eine Legierung, zum Beispiel auf der Basis von Eisen, Nickel und/oder Kobalt, enthält, geeignet.

[0034] Die Erfindung eignet sich insbesondere für Halbleiterschichten, die einen Nitrid-Verbindungshalbleiter enthalten. Nitrid-Verbindungshalbleiter sind beispielsweise Nitridverbindungen von Elementen der dritten und/oder fünften Hauptgruppe des Periodensystems der chemischen Elemente wie GaN, AlGaIn, InGaIn, AlInGaIn, InN oder AlN. Die Halbleiterschicht kann dabei auch eine Mehrzahl von Einzelschichten verschiedener Nitrid-Verbindungshalbleiter umfassen. Derartige Strukturen werden beispielsweise bei optoelektronischen Bauelementen wie Lichtemissionsdioden oder Laserdioden verwendet.

[0035] Als Substrat für die epitaktische Herstellung von Nitrid-Verbindungshalbleiterschichten eignen sich beispielsweise Saphirsubstrate oder Siliziumkarbidsubstrate, wobei Saphirsubstrate vorteilhafterweise für die zur Abtrennung der Halbleiterschicht verwendete Laserstrahlung durchlässig sind. Dies ermöglicht eine Bestrahlung der Halbleiterschicht durch das Substrat hindurch.

[0036] Weitere Merkmale, Vorzüge und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung der nachfolgenden drei Ausführungsbeispiele der Erfindung in Verbindung mit den Fig. 1 bis 5.

[0037] Es zeigen:

[0038] Fig. 1a bis 1e eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens anhand von fünf Zwischenschritten,

[0039] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0040] Fig. 3a und 3b eine schematische Darstellung eines Strahlprofils des Laserstrahls bei dem in Fig. 2 gezeigten Verfahren,

[0041] Fig. 4 eine schematische Darstellung der resultierenden Intensitätsverteilung bei dem in Fig. 2 dargestellten Verfahren,

[0042] Fig. 5 eine schematische Darstellung eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens und

[0043] Fig. 6a bis 6c eine schematische Darstellung eines Verfahrens nach dem Stand der Technik.

[0044] Gleiche oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0045] Im ersten Schritt des in Fig. 1 dargestellten Verfahrens, Fig. 1a, wird auf ein Substrat 1 eine Halbleiterschicht 2 aufgebracht. Dies kann eine Nitrid-Verbindungshalbleiterschicht, beispielsweise eine InGaIn-Schicht, sein, die epitaktisch auf ein Saphirsubstrat aufgewachsen wird. Weitergehend kann die Halbleiterschicht 2 auch eine Mehrzahl von Einzelschichten, die zum Beispiel GaN, AlN, AlGaIn, InGaIn, InN oder InAlGaIn enthalten können und nacheinander auf das Substrat 1 aufgewachsen werden, umfassen.

[0046] Im nächsten Schritt, Fig. 1b, wird die Halbleiterschicht 2 auf der von dem Substrat abgewandten Seite mit einer Kontaktmetallisierung 3 versehen. Mittels der Kontaktmetallisierung 3 wird ein geringer Kontaktwiderstand zwischen der Halbleiterschicht 2 und einem in einem späteren Verfahrensschritt anzubringenden elektrischen Anschluß, beispielsweise einem Anschlußdraht, erreicht. Zudem verbessert die Kontaktmetallisierung 3 die Lötseigenschaften der Halbleiterschicht 2. Die Kontaktmetallisierung 3 kann beispielsweise in Form einer dünnen gold- und/oder platinhaltigen Schicht aufgedampft oder aufgesputtert werden.

[0047] Nachfolgend wird auf die Kontaktmetallisierung 3 ein Träger 4 aufgelötet, Fig. 1c. Als Lot 5 wird vorzugsweise ein goldhaltiges Lot verwendet, beispielsweise ein Gold-Zink-Lot mit einem Goldanteil zwischen 65 Gew.-% und 85 Gew.-%. Eine solche Lötverbindung zeichnet sich durch eine hohe thermische Leitfähigkeit und eine hohe Stabilität unter Temperaturwechselbelastungen aus.

[0048] Die Lötverbindung kann bei einer Fügetemperatur von 375°C ausgebildet werden, wobei ein vergleichsweise geringer Fügedruck, der kleiner als 1,0 bar ist, nötig ist. Dieser geringe Fügedruck ermöglicht auch bei sehr dünnen Halbleiterschichten eine Verbindung mit dem Träger 4 ohne mechanische Schädigung der Halbleiterschicht 2.

[0049] Der Träger 4 kann beispielsweise ein GaAs-Wafer sein. Galliumarsenid eignet sich insbesondere in Verbindung mit einem Saphirsubstrat als Trägermaterial, da Saphir und Galliumarsenid einen ähnlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweisen und so thermisch induzierte Verspannungen in der Halbleiterschicht 2 vorteilhafterweise gering gehalten werden.

[0050] Im darauffolgenden Schritt, Fig. 1d, wird die Halbleiterschicht 2 durch das Substrat 1 hindurch mit einem Laserstrahl 6 mit einem plateauartigen Strahlprofil 7 bestrahlt. Die Strahlungsenergie wird vorwiegend in der Halbleiterschicht 2 absorbiert und bewirkt an der Grenzfläche zwischen der Halbleiterschicht 2 und dem Substrat 1 eine Materialzersetzung, so daß nachfolgend das Substrat 1 abgehoben werden kann.

[0051] Wesentlich ist bei der Erfindung, daß das Strahlprofil und die eingekoppelte Strahlleistung so bemessen sind, daß lokal an der Grenzfläche zwischen dem Substrat 1 und der Halbleiterschicht 2 eine hohe, zur Materialzersetzung ausreichende Temperatur entsteht, die über die Schichtdicke der Halbleiterschicht 2 so weit abfällt, daß die Verbindung 5 zwischen dem Träger 4 und der Halbleiterschicht nicht beeinträchtigt wird, beispielsweise aufschmilzt.

[0052] Vorteilhafterweise werden die aufgrund der Materialzersetzung auftretenden starken mechanischen Belastungen von der Lotschicht aufgenommen, so daß sogar Halbleiterschichten mit einer Dicke von wenigen Mikrometern zerstörungsfrei vom Substrat abgelöst werden können.

[0053] Das transversale Strahlprofil 7 des Laserstrahls 6 ist ebenfalls in Fig. 1d dargestellt. Aufgetragen ist die Strahlintensität längs der Linie A-A. Das Strahlprofil 7 weist einen zentralen Bereich 17 auf, in dem die Intensität im wesentlichen konstant ist. Lateral schließen sich an diesen Zentral-

bereich 17 Flankenbereiche 18 an, in denen die Intensität steil abfällt. Je nach Art des Abfalls gleicht das Strahlprofil einem Trapez (linearer Abfall) oder bei sehr steilem Abfall einem Rechteck.

[0054] Als Strahlungsquelle eignet sich besonders ein XeF-Excimer-Laser mit einer Emissionswellenlänge von etwa 351 nm. Aufgrund der hohen Verstärkung und der typischen Resonatorgeometrie von Excimer-Lasern ist das räumliche Strahlprofil plateauartig und daher besonders für die Erfindung geeignet. Weiterhin ist die hohe Impuls-spitzenintensität von Excimer-Lasern in einem Bereich von 1 kW bis 100 MW sowie die Emissionswellenlänge im ultravioletten Spektralbereich bei der Erfindung vorteilhaft.

[0055] Die Laserstrahlung wird mittels einer geeigneten Optik durch das Substrat hindurch auf die Halbleiterschicht 2 fokussiert und weist dort eine typische Strahlfläche von etwa 1 mm x 2 mm oder mehr auf. Die Intensitätsverteilung innerhalb der Strahlfläche ist weitgehend homogen, wobei eine Energiedichte zwischen 200 mJ/cm² und 800 mJ/cm² erreicht wird. Diese Energiedichte in Verbindung mit einer homogenen Intensitätsverteilung ermöglicht eine rückstands-freie Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat. Dies wurde beispielhaft an einer InGaN-Schicht auf einem Saphirsubstrat experimentell nachgewiesen.

[0056] Alternativ kann eine vergleichbare rückstands-freie Trennung mit einem KrF-Excimer-Laser durchgeführt werden. Die Emissionswellenlänge liegt mit etwa 248 nm weiter im ultravioletten Spektralbereich. Auch bei größeren Strahlquerschnitten mit einer Abmessung von 30 mm x 10 mm reicht hierbei die Energiedichte, die entsprechend zwischen 150 mJ/cm² und 600 mJ/cm², vorzugsweise zwischen 150 mJ/cm² und 450 mJ/cm², liegt, zur rückstands-freien Trennung der Halbleiterschicht vom Substrat aus. Weiterhin haben sich XeBr-, XeCl- und KrCl-Excimer-Laser mit einer Emissionswellenlänge von etwa 282 nm, 308 nm bzw. 222 nm für die Erfindung als geeignet erwiesen.

[0057] Nach der Bestrahlung mit dem Laserstrahl kann das Substrat 1 abgehoben werden, Fig. 1e, wobei die Halbleiterschicht 2 weitgehend ohne Substratrückstände auf dem Träger 4 verbleibt und weiterverarbeitet werden kann.

[0058] In Fig. 2 ist ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens gezeigt. Im Unterschied zu dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren werden hier Einzelbereiche 8 der Halbleiterschicht 2 nacheinander dem Laserstrahl ausgesetzt. Die annähernd rechteckförmigen Einzelbereiche 8 sind flächenfüllend und leicht überlappend angeordnet. Der Überlapp dient dabei zum Ausgleich des Intensitätsabfalls in den Randbereichen 18 des Strahlprofils 7. Die Einzelbereiche sind weiterhin matrixartig angeordnet, wobei eine Versetzung der Matrixzeilen gegeneinander hinsichtlich einer möglichst homogenen Intensitätsverteilung vorteilhaft ist.

[0059] Das Strahlprofil des Laserstrahls innerhalb des Einzelbereichs 8 ist in Fig. 3a und 3b dargestellt. In Fig. 3a ist die Intensität längs der X-Achse des in Fig. 2 eingezeichneten Achsenkreuzes 9 aufgetragen, Fig. 3b zeigt den entsprechenden Intensitätsverlauf längs der Y-Achse. Beide Profile sind plateauartig und weisen einen Zentralbereich 17a, 17b auf, an den sich Flanken 18a, 18b mit einem steilen Intensitätsabfall anschließen.

[0060] Die hieraus bei der in Fig. 2 gezeigten Einzelbestrahlung der Halbleiterschicht resultierende Intensitätsverteilung ist in Fig. 4 dargestellt. Aufgetragen ist die über die gesamte Bestrahlungszeit integrierte Intensität längs der Linie B-B. Es ergibt sich ein weitgehend homogener, nahezu konstanter Intensitätsverlauf über die gesamte Fläche der Halbleiterschicht 2, der eine rückstands-freie Trennung der

Halbleiterschicht 2 von dem Substrat 1 ermöglicht.

[0061] In Fig. 6 ist demgegenüber ein entsprechendes Verfahren nach dem Stand der Technik dargestellt. Der hierbei verwendete Laser, beispielsweise ein frequenzverdreifachter Nd:YAG-Laser weist eine näherungsweise kreisförmige Strahlfläche mit einem gaußförmigen Strahlprofil 15 auf.

[0062] Eine Fig. 2 entsprechende rasterartige Anordnung nacheinander bestrahlter Bereiche 14 einer Halbleiterschicht ist in Fig. 6a gezeigt.

[0063] Das zugehörige Strahlprofil 15, d. h. der Intensitätsverlauf längs der X-Achse bzw. der Y-Achse des Achsenkreuzes 9 ist in Fig. 6b dargestellt. Aufgrund einer rotationssymmetrischen Intensitätsverteilung, aus der sich auch die kreisförmige Strahlfläche ergibt, ist der Intensitätsverlauf entlang der beiden Achsen näherungsweise gleich. Der Intensitätsverlauf entspricht einer Gaußkurve mit maximaler Intensität im Ursprung des Achsenkreuzes 9.

[0064] Um mit einem solchen Laserstrahl die Dekompositionsschwelle zu erreichen, ist in der Regel eine Fokussierung des Strahls erforderlich. Die Dekompositionsschwelle wird dabei im Strahlzentrum überschritten, während in den Randbereichen die Energiedichte für eine Materialzer-setzung zu gering ist. Bei einer rasterartigen Bestrahlung einer Halbleiterschicht gemäß Fig. 6a ist eine näherungsweise konstante Intensitätsverteilung, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist, nicht erzielbar. Die Intensitätsvariation über das gesamte Strahlprofil und insbesondere das ausgeprägte Intensitäts-maximum im Strahlzentrum führt zu zahlreichen Intensitäts-maxima und -minima auf der Halbleiterschicht.

[0065] Ein beispielhafter Verlauf 13 der über die gesamte Bestrahlungszeit integrierten Intensität längs der in Fig. 6a gezeigten Linie C-C ist in Fig. 6c dargestellt ist. Die Variation des Intensitätsverlaufs 13 führt zu einer ungleichmäßigen Materialzer-setzung, wobei insbesondere in den Minima der Intensitätsverteilung die Dekompositionsschwelle unterschritten werden kann.

[0066] An den Stellen, an denen die für die Materialzer-setzung nötige Energiedichte nicht erreicht wird, bleibt das Halbleitermaterial erhalten. Aufgrund der Materialzer-setzung in der Umgebung dieser Stellen, gegebenenfalls mit Gasentwicklung wie beispielsweise Stickstoff im Fall von Nitrid-Verbindungshalbleitern, kann lokal ein hoher Druck entstehen, durch den Partikel aus dem Substrat herausgerissen werden. Diese Partikel können an den Stellen des nicht zersetzten Halbleitermaterials haften bleiben, so daß letztendlich Substratrückstände auf der abgelösten Halbleiterschicht zurückbleiben.

[0067] Um dem vorzubeugen, könnte bei herkömmlichen Verfahren die Strahlintensität weiter gesteigert werden. Dann bestünde aber die Gefahr einer Beschädigung der Halbleiterschicht durch Überhitzung an den Stellen der Intensitätsmaxima.

[0068] In Fig. 5 ist ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Im Unterschied zu dem in Fig. 1 und 2 gezeigten Verfahren wird hier der Laserstrahl so auf die Halbleiterschicht 2 abgebildet, daß eine streifenförmige Strahlfläche 19 entsteht. Die Strahlfläche 19 weist dabei eine Längsabmessung a und eine Querabmessung b auf, wobei die Längsabmessung a deutlich größer als die Querabmessung b ist. Eine entsprechende Strahlfläche kann bei einem Excimer-Laser 11 beispielsweise mittels einer geeigneten Maskenoptik 12 ausgebildet werden. Vorzugsweise ist die Längsabmessung a größer als eine entsprechende Abmessung der Halbleiterschicht 2, so daß die Halbleiterschicht 2 in dieser Richtung vollständig bestrahlt wird. Der Intensitätsabfall in den Flankenbereichen 18 des Strahlprofils wirkt sich dabei nicht auf das Trennverfahren aus, da die Flankenbereiche 18 außerhalb der Halbleiterschicht 2

liegen.

[0069] Die Halbleiterschicht 2 wird während der Bestrahlung in Richtung der Querabmessung b bewegt, so daß die gesamte Halbleiterschicht 2 gleichmäßig bestrahlt wird. Bei einem gepulsten Laser mit hinreichend kurzer Impulsdauer, typischerweise im Nanosekundenbereich, ergibt sich dabei wieder eine sukzessive Bestrahlung von streifenförmigen Einzelflächen auf der Halbleiterschicht 2, da Halbleiterschicht 2 im wesentlichen zwischen den Laserimpulsen weiterbewegt wird und die Bestrahlung dieser Bewegung gegenüber instant erfolgt.

[0070] Die Erläuterung der Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung hierauf zu verstehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements, bei dem eine Halbleiterschicht (2) von einem Substrat (1) durch Bestrahlen mit einem Laserstrahl (6) getrennt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) ein plateauartiges räumliches Strahlprofil (7) aufweist.
2. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements, bei dem eine Halbleiterschicht (2) von einem Substrat (1) durch Bestrahlen mit einem Laserstrahl (6) getrennt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) von einem Excimer-Laser erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Excimer-Laser eine Edelgas-Halogen-Verbindung, insbesondere XeF, XeBr, XeCl, KrCl oder KrF als laseraktives Medium enthält.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) ein plateauartiges räumliches Strahlprofil (7) aufweist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) ein rechteckartiges oder trapezartiges räumliches Strahlprofil aufweist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) von einem Laser im Pulsbetrieb erzeugt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge des Laserstrahls (6) zwischen 200 nm und 400 nm liegt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) derart auf die Halbleiterschicht (2) fokussiert wird, daß innerhalb des bestrahlten Bereichs die durch den Laserstrahl (6) erzeugte Energiedichte zwischen 100 mJ/cm² und 1000 mJ/cm², insbesondere zwischen 150 mJ/cm² und 800 mJ/cm², liegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Einzelbereiche (8) der Halbleiterschicht (2) nacheinander bestrahlt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelbereiche (8) derart flächenfüllend angeordnet sind, daß sich für einen überwiegenden Teil der bestrahlten Halbleiterschicht (2) zeitlich integriert eine räumlich annähernd konstante Intensitätsverteilung (10) ergibt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (6) am Ort der Halbleiterschicht (2) eine Strahlfläche mit einer Längsabmessung (a) und einer Querabmessung (b) aufweist, wobei die Längsabmessung (a) größer als die Querabmessung (b) ist, und die Halbleiterschicht (2)

während der Bestrahlung entlang der Richtung der Querabmessung (b) relativ zu dem Laserstrahl (6) bewegt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) für den Laserstrahl (6) zumindest teilweise durchlässig ist und die Halbleiterschicht (2) durch das Substrat (1) hindurch bestrahlt wird.

13. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements, bei dem eine Halbleiterschicht (2) von einem Substrat (1) durch Bestrahlen einem Laserstrahl (6) getrennt wird, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Trennung von dem Substrat (1) die Halbleiterschicht (2) mit der von dem Substrat (1) abgewandten Seite auf einen Träger (4) gelötet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2) mittels eines Lots, das Gold und/oder Zinn oder Palladium und/oder Indium enthält, auf den Träger (4) gelötet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Verbinden der Halbleiterschicht (2) mit dem Träger (4) auf die von dem Substrat (1) abgewandte Seite der Halbleiterschicht (2) eine Metallisierung aufgebracht wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallisierung Gold und/oder Platin enthält.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (4) Galliumarsenid, Germanium, Silizium, Molybdän, Kupfer, Eisen, Nickel und/oder Kobalt enthält.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2) vermittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 von dem Substrat (1) getrennt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18 dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2) mindestens einen Nitrid-Verbindungshalbleiter enthält.

20. Verfahren nach einem Anspruch 19; dadurch gekennzeichnet, daß der Nitrid-Verbindungshalbleiter eine Nitridverbindung von Elementen der dritten und/oder fünften Hauptgruppe ist.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2) eine Mehrzahl von Einzelschichten umfaßt.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2) bzw. mindestens eine der Einzelschichten GaN, AlGa_xIn_{1-x}N, AlInGa_xN_{1-x} oder InN enthält.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) Silizium, Siliziumkarbid oder Aluminiumoxid, insbesondere Saphir, enthält.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2) mittels eines Epitaxieverfahrens auf das Substrat (1) aufgebracht wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht (2) eine Dicke aufweist, die kleiner oder gleich 50 µm ist.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleiterbauelement ein Dünnschichtbauelement ist.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleiterbauelement ein optoelektronisches Bauelement, insbesondere ein strahlungserzeugendes Bauelement wie eine Lumines-

zenzdiode ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG 1A

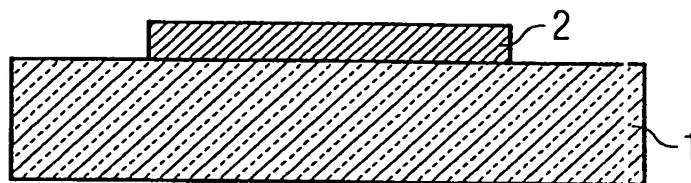


FIG 1B

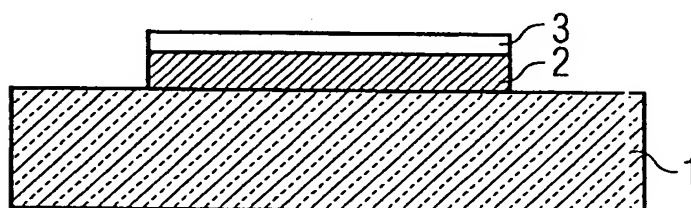


FIG 1C

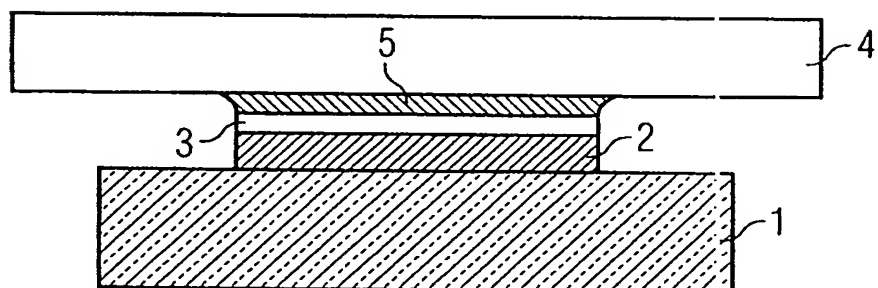


FIG 1D

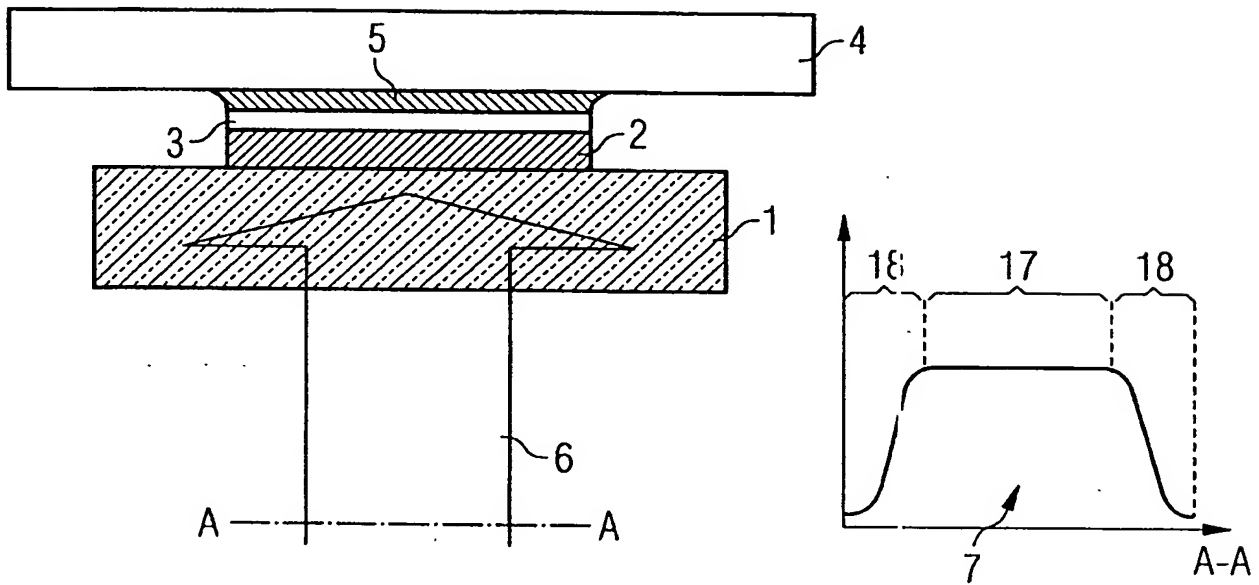


FIG 1E

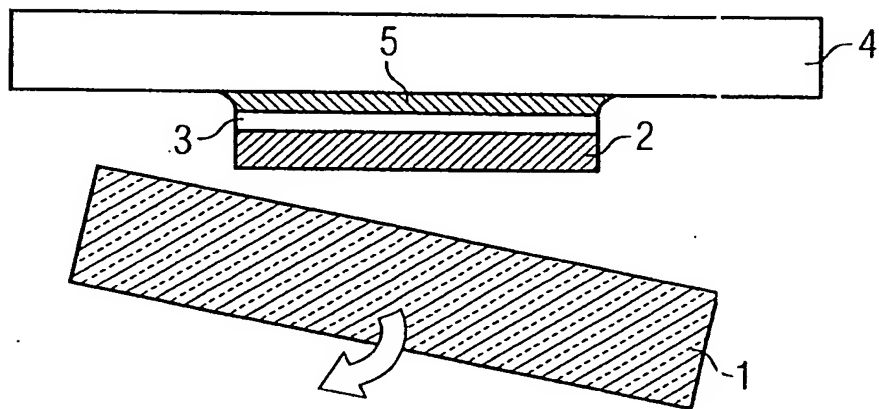


FIG 2

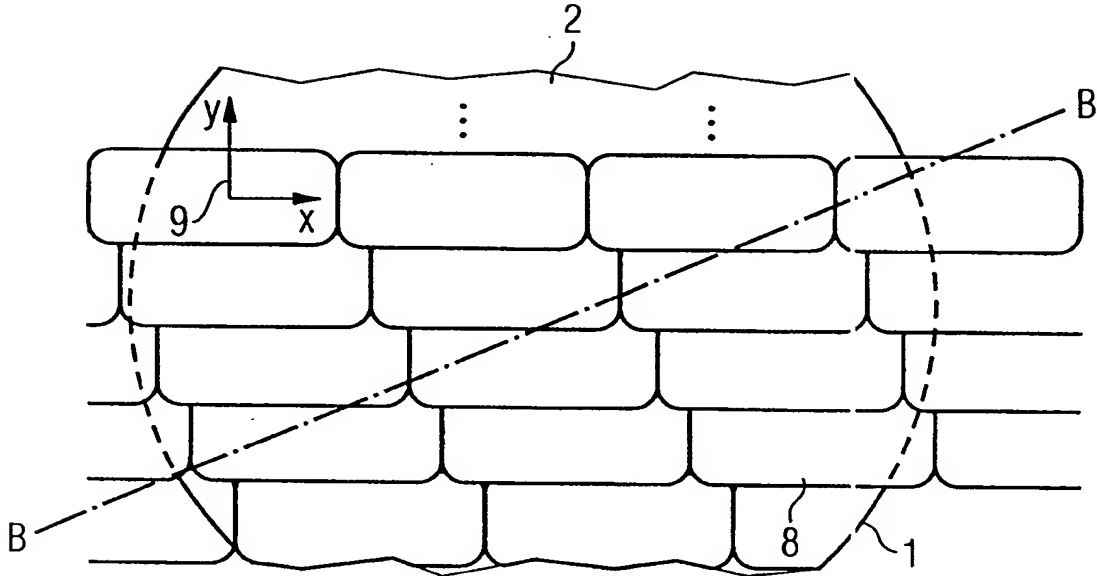


FIG 3A

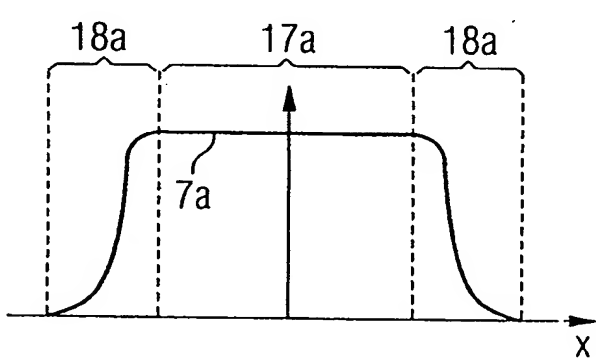


FIG 3B

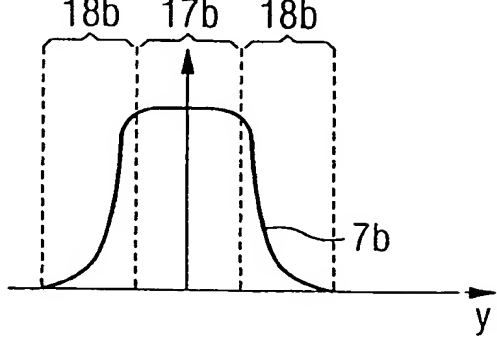


FIG 4

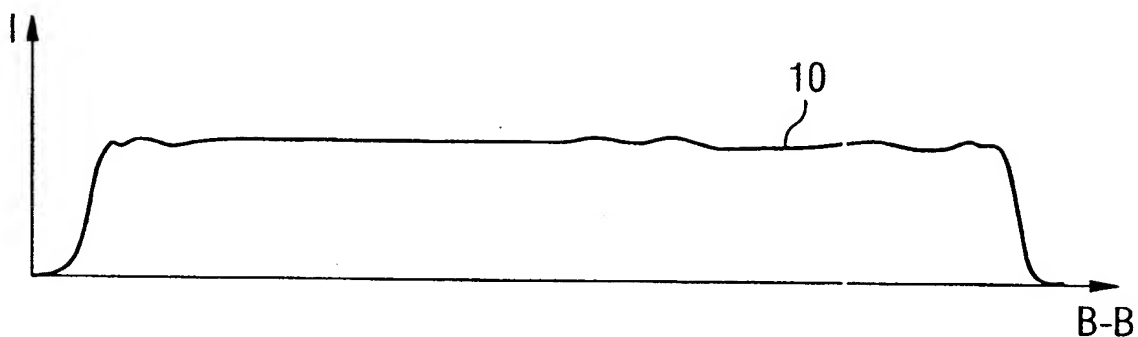


FIG 5

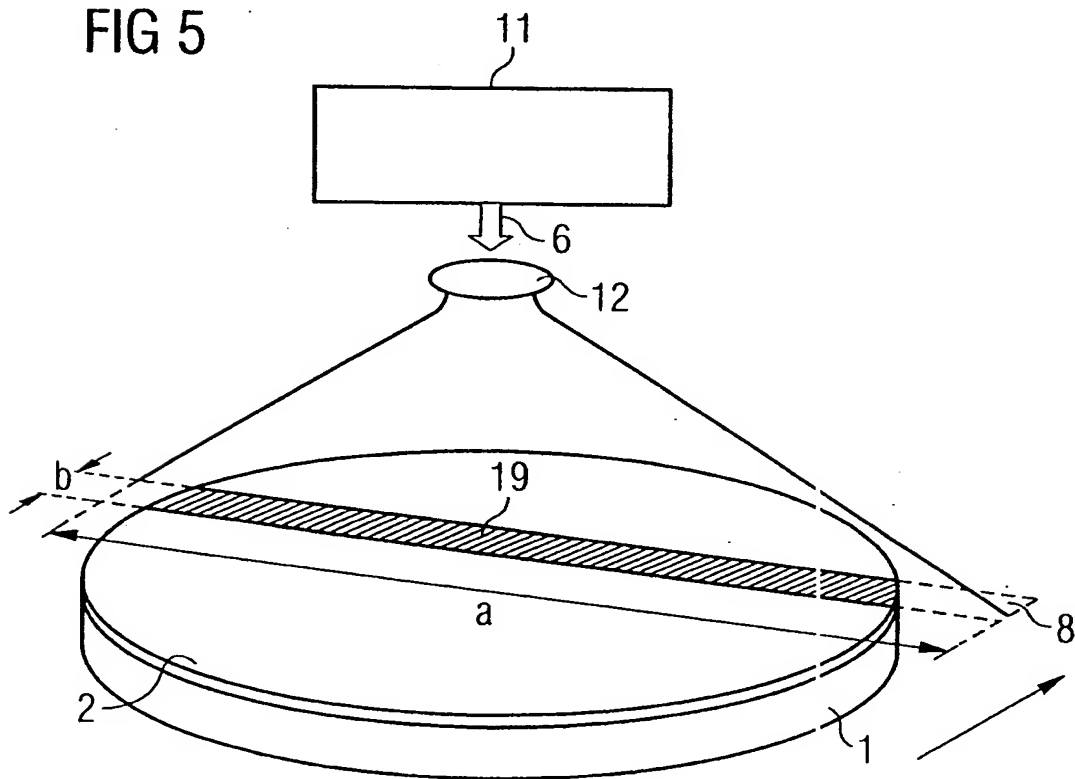


FIG 6A
Stand der Technik

